

基于图像角点的数字水印算法

许海霞^{1,2},王耀南²,周 维¹,朱 江²,陈 维^{1,2}

XU Hai-xia^{1,2},WANG Yao-nan²,ZHOU Wei¹,ZHU Jiang²,CHEN Wei^{1,2}

1.湘潭大学 信息工程学院,湖南 湘潭 411105

2.湖南大学 电气与信息工程学院,长沙 410082

1.School of Information Engineering,Xiangtan University,Xiangtan,Hunan 411105,China

2.School of Electrical and Information Engineering,Hunan University,Changsha 410082,China

E-mail:xhxia2002@126.com

XU Hai-xia,WANG Yao-nan,ZHOU Wei,et al.Digital watermark algorithm on image corner points.Computer Engineering and Applications,2008,44(20):89-92.

Abstract: Based on image corner points,a digital image watermark algorithm is proposed in this paper.High frequency information from original image is embedded watermark adaptively,with corner points being embedding position.To detect watermark,watermark geometric distortion can be rectified and from which got position to extract watermark accurately according to extracted corner points of marked image.Then number of the effective corner points is statistified to quantitatively show the result of performance analysis.After watermark synchrony,correlation is used as judge criterion.Simulation result shows that the method is practicable with higher robustness as shearing and geometric attacks.

Key words: digital watermark;image corner points;correlation function;Noise Visibility Function(NVF)

摘 要:设计了一种基于图像角点的数字水印算法,嵌入过程以图像角点为嵌入位置,水印加性自适应嵌入于图像高频分量中。检测时,无需原始图像,水印图像角点实现对图像的几何校正及准确定位并提取水印,最后统计有效角点数,定量给出性能分析结果。实验表明,该方法可行,具有强的抗压缩、几何攻击性,不可见性,鲁棒性。

关键词:数字水印;图像角点;相关函数;噪声可见函数

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2008.20.028 文章编号:1002-8331(2008)20-0089-04 文献标识码:A 中图分类号:TP391

1 引言

随着信息时代数字化、网络化的到来,多媒体技术的飞速发展和 Internet 的普及,人们可以方便地共享资源,发布自己的作品、重要消息,进行网络交易等,但随之也带来了一系列政治、经济、军事和文化问题,如内容篡改、交易欺诈、侵权等问题,网络的开放性和资源共享使得如何有效地保护网络信息的安全和多媒体数字化产品的版权保护是急待研究和解决的热点问题。将数字产品嵌入水印是一种有效的解决途径^[1]。

一种鲁棒的、强健的数字水印算法必须具备一定的抗攻击性,如抗压缩、几何攻击。目前,在抗剪切、几何攻击方面的研究成果有,Lin 的 RST(Rotate,Scale,Translate)不变域嵌入^[2],如 DFT 变换域,Fourier-Mellin 变换域,其计算量较大。各类嵌入同步模板标志^[3],模板标志反映其遭受的几何攻击,计算量大且影响图像的不可见性。ACF(Auto-Correlation Function)法^[3,4,8],利用自相关函数的周期峰值反映图像受到的几何攻击,ACF 峰值是规则点阵易受到攻击和出现假峰值点。图像矩法^[5,6],可以抗几何攻击,但是不抗剪切攻击,且图像必须是完整的。图像特

征点法,自从 1998 年 Kutter^[7]提出第二代水印的概念,寻找 RST 不变图像特征点的水印算法的研究逐渐发展起来,Wei Lu^[8]等在 Kutter 提出的不变点基础上设计了水印算法,但其中忽略了重要的特征点匹配过程,在实际应用过程中可能匹配位置不正确,出现假峰值点,使检测不准确。

本文在 Kutter 提出的概念的基础上,设计了基于特征点——图像角点的水印算法,引入角点的概念来设计水印系统,是一种新的思路。图像角点是图像本身的特征,具有旋转、几何不变性。在以图像角点为中心的邻域内加性自适应嵌入水印,检测时,不需要原始图像,提取的水印图像角点,对水印图像的几何攻击进行估计及校正,以取得水印同步,最后再计算水印相关性,统计有效角点数,评价水印是否存在。结果表明,在一定攻击下,可提取到 80%~100%的有效角点数。说明该方法具有强的抗压缩、几何攻击性,不可见性,鲁棒性。

2 角点的检测

角点检测是计算机视觉、模式识别分析常用的重要方法之

基金项目:高校基金项目(No.06XZX10)。

作者简介:许海霞(1978-),女,博士生,讲师,研究方向:图像处理、计算机视觉;王耀南(1957-),男,博导,教授,研究方向:计算机视觉、模式识别与智能系统;周维(1978-),男,研究方向:网络安全;朱江(1979-),博士生;陈维(1976-),博士生。

收稿日期:2007-09-14 修回日期:2007-11-24

一,从1998年,Kutter引入第二代水印的概念,人们不断挖掘、寻找图像的不变特征点,在此,将Harris于1988年提出^[1]的图像角点视为特征点引入数字水印算法中,根据实现方法不同,角点检测算法有分为:基于模板的方法、基于边缘的方法、基于亮度变化的方法。本文,采用基于亮度变化的Harris角点检测^[10,11],也就是,在任一方向的微小偏移都将引起图像灰度很大变化的像素点。

Harris角点检测算子

$$R = \det(\mathbf{M}) - k \cdot \text{trace}^2(\mathbf{M})$$

其中, k 是常数,一般为0.04~0.06。在像素点 $X=(x,y)$ 的灰度变化协方差阵 \mathbf{M} 为:

$$\mathbf{M}(X, \sigma_1, \sigma_2) = \sigma_D^2 g(X, \sigma_1) * \begin{bmatrix} I_x^2(X, \sigma_D) & I_x I_y(X, \sigma_D) \\ I_x I_y(X, \sigma_D) & I_y^2(X, \sigma_D) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中 $I_a(X) = I(X) * g_a(X, \sigma_D)$ 。

I_a 为由高斯核 $g_a(X, \sigma_D)$ 卷积计算的 a 方向的偏导数,表示其灰度的变化量, σ_D 是微分尺度参数。

尺度高斯窗 $g(X, \sigma_i)$,对图像灰度变化阵进行平滑,并使角点具有旋转、尺度不变性, σ_i 是尺度参数。高斯函数 $g(X, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$ 。

当 $R > T$, T 是某一阈值,并取得其局部极值,即为图像角点。

亮度变化大的点体现高频分量,人类视觉系统对低频信息较高频信息更敏感,因此将角点选为嵌入位置,可以取得好的不可见性。并且角点是图像本身固有的不变特征点,使水印图像具有抗RST性,有助于水印提取。

3 水印的嵌入

水印嵌入过程如图1,详细分析如下。

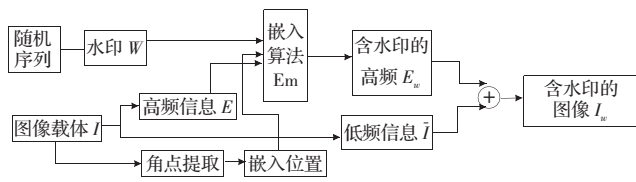


图1 水印嵌入过程

3.1 水印信息的构成

水印信息结构的设计须考虑水印的容量、图像质量等因素,运用均值为0,方差为1,相关函数为1的二值随机序列 x_k , $x_k \in (-1,1)$ 作为水印信息 W_i ,在图像角点的 L 邻域内置入大小为 $(2L+1) \times (2L+1)$ 的二维随机序列矩阵 W_i ,则水印的信息容量为 $N \cdot (2L+1) \cdot (2L+1)$, N 为角点数量。嵌入图像的水印信息的幅度量由图像内容给出的参数 λ 控制,保证图像的质量。

3.2 水印的嵌入

嵌入过程如图1所示,随机信息构成的水印直接嵌入时域中,将图像表示为高低频分量,为了提高不可见性,通过嵌入算法 E_m 将水印嵌入在高频信息分量 E 中,水印嵌入位置是水印嵌入算法中一项重要的研究内容,而图像角点是图像本身固有的特征,具有抗RST不变性、抗滤波性,选图像角点作为嵌入位置,可使水印定位准确,增强水印检测的鲁棒性。具体步骤如下:

(1)按以上原理,提取图像 I 的角点,通过调节高斯窗口宽度,控制角点的数量。

(2)取图像高频分量 E :

$$E = I - \bar{I} \quad (2)$$

式中, \bar{I} 为图像的低通分量,通过低通滤波器或取其局部均值。

(3)在图像角点 (x,y) 处,通过嵌入算法 E_m ,在每个角点的 L 邻域内,将水印 W_i 自适应嵌入高频分量 E 中,得到含水印的高频分量 E_w ,嵌入算法 E_m 表示为函数:

$$E_w = E_m(E, W_i, (x, y)) \quad (3)$$

在每个角点 L 邻域内嵌入,函数 E_m 有如下具体实现形式:

$$E_w(x+i, y+j) = E(x+i, y+j) + a\lambda(x+i, y+j)W_i(x+i, y+j) \quad (4)$$

式中 $i, j \in [-L, L]$, a 为全局控制系数, λ 为局部控制系数。且

$$\lambda = (1 - NVF)s_1 + NVFs_0, (s_1, s_0 \text{ 为常数})$$

噪声可见函数NVF由图像 I 求得,

$$NVF(x, y) = \frac{1}{1 + \frac{D}{\sigma_{\max}^2(x, y)} \sigma^2(x, y)} \quad (5)$$

式中 D 为常数, $\sigma^2(x, y)$ 是像素 (x, y) 的 L 邻域的局部方差。

(4)将嵌入水印的高频分量与原低频分量合成得到含水印的图像 I_w :

$$I_w = \bar{I} + E_w \quad (6)$$

4 水印的检测

水印的检测过程如图2。含水印图像发布于网络上,可能会受到攻击,其中几何攻击会破坏水印的同步性,无法检测到水印,则检测过程分两步进行,首先进行几何攻击估计并校正,然后再进行水印检测。

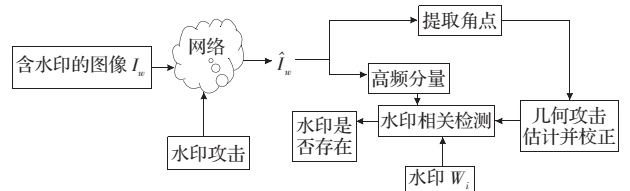


图2 水印检测过程

4.1 几何攻击估计及校正

根据角点的位置,对可能会受到几何攻击的图像进行检测及校正,对待测图像 \hat{I}_w 进行角点提取,提取的角点 (x', y') 与水印图像 I_w 角点 (x, y) 匹配。 $((x, y), (x', y'))$ 是角点像素坐标。

按仿射变换原理有

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix} \quad (7)$$

即,需确定以上 a, b, \dots, f 的6个参数,手工选取两对匹配点,对于尺度、旋转参数有

$$\begin{bmatrix} a & c \\ b & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_1' & y_1' \\ x_2' & y_2' \end{bmatrix} \quad (8)$$

对于平移参数有

$$\begin{cases} e = x_1' - (ax_1 + by_1) \\ f = y_1' - (cx_1 + dy_1) \end{cases} \quad (9)$$

若选取的匹配点多于两对时,解关于6个参数的线性方程

$$AX=B \tag{10}$$

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \quad X = [a \ b \ e \ c \ d \ f]^T \quad B = [x'_1 \ y'_1 \ \dots \ y'_n]^T$$

得到更精确的几何失真参数。这样,估计并校正图像,取得所有角点的正确位置。

4.2 水印检测

将待测图像 \hat{I}_w 校正后,取图像高频分量 \hat{E}_w ,计算各个角点 (x',y') L 邻域的高频分量与原水印 W_i 的相关性函数值 $corr$,其计算如下,

$$corr = \frac{\langle \hat{E}_w, W_i \rangle_L}{|\hat{E}_w| |W_i|} \lambda(x',y') \tag{11}$$

若在正确的角点位置,且 \hat{E}_w 含有与 W_i 同步的水印,则它们的相关函数会出现一个峰值,表示检测到水印,水印存在,否则没有峰值,无法检测到水印。判断峰值有效的阈值 $T=0.7$ 。

估计并校正后的水印图像,仍有可能出现检测出的图像角点并不含有水印,即角点位置不正确,也可能在非角点位置却有峰值检测到。因此,在实验中,通过相关函数检测是否含有水印,用未受攻击的水印图像角点标定角点正确位置,检测并统计出含有水印的且在正确位置中的有效角点数量,用来定量分析说明本算法的可行性及鲁棒性。

5 实验结果及性能分析

采用 Matlab 6.5 进行仿真,在大量实验中,以 256×256 lena.bmp、peppers.bmp、cameraman.bmp 灰度图像为例来说明本算法的有效性。图 3 为原始图像及加入水印后图像,由此可看出两图没有明显的差别,不可见性强。适当调节全局 a 、局部控制系数 λ 会取得较好的不可见性。图 4 为原始图像及加入水印后图像提取的角点。在(a)lena 角点,(b)peppers 角点及(c)cameraman 角点中,圆点为原始图像的角点,方格为加入水印后图像的角点,圆点与方格位置一一对应重合,并且相关检测水印峰值如图 5,说明加入水印后,水印的嵌入位置可以准确定位,能够成功检测到水印。同时,很明显看到峰值出现位置与角点位置也是一致的。此水印图像的角点位置作为判断后面性能测试实验中角点位置是否正确的参考位置。



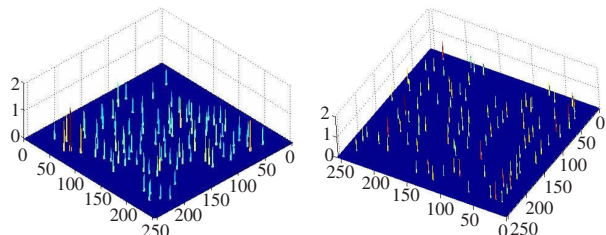
图 3 原始图像及加入水印后图像



(a)lena 角点 (b)peppers 角点 (c)cameraman 角点

图 4 原始图像及加入水印后图像提取的角点

(圆点为原始图像的角点,方格为加入水印后图像的角点)



(a)lena 相关检测峰值 (b)peppers 相关检测峰值

图 5 水印相关函数检测峰值点

用 Stirmark 软件模拟攻击测试分析本文提出的算法的性能,以检测到的有效角点数(含水印的、正确位置的角点)来定量分析说明。图 4、图 5 是未受攻击时,检测到的角点及峰值。lena 为 113 点,peppers 为 147 点,cameraman 为 114 点。

抗 RST 分析如表 1,由于角点与空间位置有关,与未受攻击时相比,有效角点数量稍有减少。同时,不具有抗剪切性。再以图形分析来说明,以 lena.bmp 旋转 15° 为例,旋转 15° 后,检测到的角点如图 6 所示,手工选取 10 点,进行校正,校正后检测到的有效的角点 101 个,如图 7 所示,可以看到,小部分方格没有与圆点重合,即校正后的图像小部分角点位置不正确或没有出现峰值,即在那些角点上没有提取到水印。



图 6 旋转 15° 后的角点检测



图 7 受旋转攻击校正后的角点检测

表 1 抗 RST 几何攻击分析

攻击方法	缩小0.75	放大1.25	旋转 45°	旋转 15°	放大 1.5 且 缩小 0.75 再 旋转 15°	缩小 0.75 再 旋转 20°	
有效角点	lena	97	102	96	101	92	88
peppers	134	126	125	131	123	116	

抗 Jpeg 压缩的分析如图 8,以 lena.bmp、cameraman.bmp 图像为例说明,随压缩程度加大,信息量损失程度加大,角点位置定位不够准确,导致有效的角点数随之下降。当压缩为 30%时,可检测到大量有效角点,则抗压缩性强。

由水印检测图变化曲线及表可看出,此水印算法可行,有强的 RST 几何攻击、抗压缩性、不可见性、鲁棒性。

6 结束语

本文分析、总结前人的抗几何攻击的水印方案,引入角点

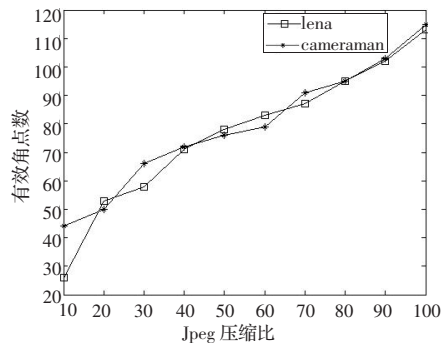


图8 Jpeg 压缩攻击水印检测值变化曲线

的概念,设计了一种基于图像特征点——图像角点的水印算法,充分利用图像角点的特征,嵌入时以角点为嵌入位置,检测过程,根据角点的不变性,实现对图像的校正及准确定位提取水印,再由有效角点数定量给出性能分析结果。文中,采用加性自适应嵌入,为了进一步提高水印算法的不可见性,增强鲁棒性,改进嵌入算法是下一步要做的工作。

参考文献:

- [1] Lin Ching-Yung, Wu Min, Bloom J A, et al. Cox, rotation, scale, and translation resilient watermarking for images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(5): 767-78.
- [2] 胡玉平, 韩德志, 羊四清. 抗几何变换的小波域自适应图像水印算法[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(10): 2470-2475.
- [3] Kutter M. Watermarking resistant to translation, rotation and scaling[C]//Proceedings of SPIE, Boston, USA, November, 1998, 3530: 423-

(上接 76 页)

从表 3 可以看出,当采用相同嵌入强度和相同处理方式时,文献[8]方法与 Cox 方法相比,在水印的不可见性和鲁棒性之间进行了折中(文献[8]的 PSNR 大于 Cox 方法的 PSNR, NC 小于 Cox 方法的 NC)。而本文方法的 PSNR 和 NC 均比文献[8]方法的 PSNR 和 NC 大些,说明采用本文方法,水印的不可见性和鲁棒性优于文献[8]中的方法。

4 结束语

为了兼顾水印的不可见性和鲁棒性,本文提出了一种在小波变换中频部分嵌入水印的方法。本方法的创新之处在于:从小波变换中频部分选择待嵌入系数,并根据人类视觉系统的频率掩蔽特性对嵌入强度进行自适应调整。实验结果表明,本文提供的方法能够使水印的鲁棒性和不可见性达到较好折中,嵌入水印后图像质量没有明显下降,并且进行有损压缩、中值滤波、剪裁及附加噪声等处理后,均能提取出有效水印。对于数字作品的版权保护应用,本文方法具有一定的实用性。

参考文献:

- [1] 陈明, 王书文. 基于小波变换的图像自适应水印算法[J]. 西北民族大学学报: 自然科学版, 2006, 27(2): 31-34.
- [2] 姜明新, 迟学芬. 基于小波多分辨率分解的数字图像水印算法[J]. 吉

431.

- [4] Huang H C, Pan J S, Hang H M. Watermarking based on transform domain[J]. Intelligent Watermarking Techniques, World Scientific, Singapore, 2004: 147-163.
- [5] Mukundan R, Ong SH, Lee PA. Image analysis by Techebichef moments[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(9): 1357-1364.
- [6] Mukundan R, Ong SH, Lee PA. Discrete vs. continuous orthogonal moments in image analysis[C]//Proc of Intl Conf on Imaging Systems, Science and Technology-CISST'2001, Las Vegas, 2001, 6: 23-29.
- [7] Kutter M, Bhattacharjee S K, Ebrahimi T. Towards second generation watermarking schemes[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Image Processing (ICIP'99), 1999, 1: 320-323.
- [8] Lee C-H, Lee H-K. Improved autocorrelation function based watermarking with side information[J]. Journal of Electronic Imaging, 2005, 14(1): 1-13.
- [9] Lu Wei, Lu Hongtao, Chung Fu lai. Feature based watermarking using watermark template match[J]. Applied Mathematics and Computation, 2006(177): 377-386.
- [10] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[C]//Matthews M M. Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference. Manchester: the University of Sheffield Printing Unit, 1988: 147-151.
- [11] Mikolajczyk K, Schmid C. Scale & affine invariant interest point detectors[J]. Int'l Journal of Computer Vision, 2004, 60(1): 63-86.
- [12] 孙圣和, 陆哲明, 牛夏牧. 数字水印技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- 林大学学报: 信息科学版, 2005, 23(1): 221-224.
- [3] Lumini A, Maio D. A wavelet-based image watermarking scheme[C]//International Conference on Information Technology: Coding and Computing, March 27-29, 2000: 122-127.
- [4] Liu H M, Liu J F, Huang J W, et al. A robust DWT-based blind data hiding algorithm[C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'2002), May 26-29, 2002, 2: 672-675.
- [5] Cox I J, Kilian J, Leighton T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(12): 1673-1687.
- [6] Hong I, Kim I, Han S S. A blind watermarking technique using wavelet transform[C]//IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE'2001), June 12-16, 2001, 3: 1946-1950.
- [7] Yang J, Lee M H, Chen X H, et al. Mixing chaotic watermarks for embedding in wavelet transform domain[C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'2002), May 26-29, 2002, 2: 668-671.
- [8] Yang J, Lee M H, Park J Y. Enhancing robustness of information hiding against interference of communication with turbo code[C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'2002), May 26-29, 2002, 1: 13-16.
- [9] Wang Hongjun, Li Na. An algorithm of digital image watermark based on multiresolution wavelet analysis[C]//IEEE Int Workshop VLSI Design & Video Tech, Suzhou, China, May 28-30, 2005: 272-275.